



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

OCHRANY TRAKCÍ

TRACTION PROTECTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Nicolas Šüli

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. David Topolánek, Ph.D.

BRNO 2019

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Nicolas Šüli

ID: 173761

Ročník: 3

Akademický rok: 2018/19

NÁZEV TÉMATU:

Ochrany trakcí

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Práce bude zaměřena na používané typy ochran trakcí. Cílem práce bude popis funkčních principů ochran užívaných v oblasti trakcí, typických schémat popisujících způsoby chránění trakčních systémů, vysvětlení přínosu a definice základních podmínek jejich nastavení. Součástí práce bude i rozbor vybraných problémů souvisejících s jejich provozem (bludné proudy).

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 4.2.2019

Termín odevzdání: 27.5.2019

Vedoucí práce: Ing. David Topolánek, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Bibliografická citace práce:

ŠÜLI, N. OCHRANY TRAKCÍ. BRNO: VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ, 2019. 39 s. VEDOUcí SEMESTRÁLNÍ PRÁCE ING. DAVID TOPOLÁNEK, PH.D..

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Ochrany trakcí jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.“

V Brně dne: 27.05.2019

.....

POĎAKOVANIE

Na tomto mieste by som rád poďakoval vedúcemu práce Ing. David Topolánek, Ph.D. za cenných rád, vecné pripomienky a ústretovosť pri konzultáciách a vypracovanie bakalárskej práce.

ABSTRAKT

Bakalárska práca sa zameriava na metódy ochrany v trakčnom napájacom stanici a v trakčnom meniarne. Práca najprv sa zaoberá s súčasným stavom trakčnej dopravy, potom s nežiaducím stavom v trakčnom systéme a elektrickými ochranami. V práci sú opísané a nakreslené v programe INKSCAPE dve najčastejšie používané typy trakčnej napájacej stanici s ochranami.

KLÍČOVÁ SLOVA: trakčná meniareň; trakčná trafostanica; trakčná napájacia stanica; elektrické ochrany

ABSTRACT

This bachelor's thesis focuses on methods of protection for AC and DC traction systems. In thesis first deal with current state in traction, next with undesirable conditions and electrical protections. The work describes a draw in the program INKSCAPE two most often used traction power station with protection.

KEY WORDS: AC traction power station; DC traction power station; traction power station; electrical protections

OBSAH

ZOZNAM OBRÁZKOV.....	7
ZOZNAM TABULIEK.....	8
ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK.....	9
1 ÚVOD.....	10
2 SÚČASNÝ STAV TS	11
2.1 ŽELEZNIČNÁ DOPRAVA.....	11
2.2 TROLEJBUSY.....	14
2.3 ELEKTRICKÁ DIAENICA PRE KAMIÓNY	14
2.4 ELEKTRICKY	15
3 PORUCHOVÉ STAVY PRI TS.....	16
3.1 BLÚDIVÉ PRÚDY	16
3.2 SKRATY.....	17
3.3 PREPÄTIE, PODPÄTIE A NADPÄTIE	18
4 OCHRANY	19
4.1 NADPRÚDOVÉ OCHRANY	19
4.1.1 OKAMIHOVÁ NADPRÚDOVÁ OCHRANA.....	19
4.1.2 ČASOVO NEZÁVISLÁ NADPRÚDOVÁ OCHRANA.....	19
4.2 BUCHHOLZOVÉ RELÉ.....	20
4.3 KOSTROVÁ OCHRANA	20
4.4 VYSOKONAPÄŤOVÉ POISTKY	21
4.5 ZVODIČE PREPÄTIA.....	21
4.5.1 OCHRANNÉ ISKRIŠŤIA	21
4.5.2 BLESKOISTKA	21
4.5.3 VENTILOVÁ BLESKOISTKA.....	22
4.6 LOKÁTORY	22
4.6.1 REFLEKTOMETRICKÉ MERANIE (TDR)	22
4.6.2 BODOVÉ UPRESNENIE MIESTA PORUCHY METÓDOU KROKOVÉHO NAPÄTIA	23
5 TRAKČNÁ NAPÁJACIE STANICE A MENIARNE	25
5.1 STRIEDAVÁ TS.....	25
5.1.1 1 FÁZOVÁ SÚSTAVA S NAPÄTÍM 25 kV A FREKVENCIOU 50 Hz	26
5.1.2 2AC SÚSTAVA S NAPÄTÍM 25 kV A FREKVENCIOU 50 Hz	30
5.2 JEDNOSMERNÍ TS.....	31
5.2.1 JEDNOSMERNÁ TS S NAPÄTÍM 600 V ,750 V ,1500 V A 3000 V.....	32
6 NORMY	35
7 ZÁVER.....	37
POUŽITÁ LITERATURA	38

ZOZNAM OBRÁZKOV

<i>Obr. 2-1</i> <i>Sústavy používané v Európe [1]</i>	11
<i>Obr. 2-2</i> <i>Elektrifikácie v ČR [3]</i>	12
<i>Obr. 2-3</i> <i>Jednostranné sústredené napájanie</i>	13
<i>Obr. 2-4</i> <i>Dvostranné rozložené napájanie dvojkoľajnej trate</i>	13
<i>Obr. 2-5</i> <i>Schéma trolejbusov</i>	14
<i>Obr. 2-6</i> <i>Kamión s pantografom [16]</i>	14
<i>Obr. 2-7</i> <i>Schéma električiek, kladný pól v vedenie</i>	15
<i>Obr. 2-8</i> <i>Schéma električiek, záporný pól v vedenie</i>	15
<i>Obr. 3-1</i> <i>Následky bludivého prúdu [17]</i>	17
<i>Obr. 4-1</i> <i>Charakteristika okamihovej ochrany [11]</i>	19
<i>Obr. 4-2</i> <i>Charakteristika časovo nezávislej ochrany [11]</i>	20
<i>Obr. 4-3</i> <i>Buchholzová plynová relé princíp fungovanie [12]</i>	20
<i>Obr. 4-4</i> <i>Kostrová ochrana princíp fungovanie [12]</i>	21
<i>Obr. 4-5</i> <i>Reflektogramy pri rôznej typy porúch [18]</i>	23
<i>Obr. 4-6</i> <i>Princíp bodového upresnenia miesta poruchy [18]</i>	24
<i>Obr. 4-6</i> <i>Lokátor plášťových porúch a zemných spojení ESG NT a prijímač rázových vln DigiPHONE+ [19]</i>	24
<i>Obr. 5-1</i> <i>Pripojenie trakčných transformátorov 110/27 kV pri zapojenie vstupného vinutie do T [14]</i>	26
<i>Obr. 5-2</i> <i>Napájanie do T</i>	26
<i>Obr. 5-3</i> <i>Pripojenie trakčných transformátorov 110/27 kV pri zapojenie vstupného vinutie do V [14]</i>	27
<i>Obr. 5-4</i> <i>Napájanie do V</i>	27
<i>Obr. 5-5</i> <i>Schéma TNS typu H, dôležité pre nastavovanie blokovacej podmínky</i>	28
<i>Obr. 5-6</i> <i>Rozvodňa 110 kV TT s ochranami</i>	30
<i>Obr. 5-7</i> <i>Rozvodňa 27 kV TT s ochranami</i>	30
<i>Obr. 5-8</i> <i>Spínacia stanica s ochranami</i>	30
<i>Obr. 5-9</i> <i>Princíp napájání pri jednosmernej TS</i>	31
<i>Obr. 5-10</i> <i>Rozvodňa 110 kV TM s ochranami</i>	32
<i>Obr. 5-11</i> <i>Rozvodňa 22 kV TM s ochranami</i>	33
<i>Obr. 5-11</i> <i>Obmedzovač HL120 [20]</i>	34

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 3-1 Maximálne poruchové prúdy pri skratu medzi vedením a koľajnicou [8].....16

Tab. 5-1 Menovité napätie a prípustné rozpätie ich hodnot [6]25

ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK

ČR	Česká republika
DS	Distribuční siet'
TT	Trakčná transformovňa
TNS	Trakčná napájacia stanica
TM	Trakčná meniareň
TS	Trakčná sústava

ASCII kód ochrán:

- 27 Podpäťová ochrana (undervoltage relay). Ochrana, ktorá pôsobí, keď vstupné napätie je nižšie ako preddefinovaná hodnota.
- 32 Smerová výkonová ochrana (directional power relay). Ochrana, ktorá pôsobí, keď preddefinované hodnoty toku výkonu v danom smere dosiahne alebo pôsobí pri dosiahnutí hodnoty spätného toku výkonu, ktorý je spôsobený motorickým chodom generátoru pri výpadku alebo pri strate jeho primárneho pohonu.
- 50 Okamihová nadprúdová ochrana (instantaneous overcurrent relay). Ochrana, ktorá pôsobí v okamihu, keď došlo k prekročeniu určitej hodnoty prúdu.
- 51 Nadprúdová, časovo oneskorená ochrana (ac time overcurrent relay). Ochrana, ktorá pôsobí, keď vstupný prúd prekročí preddefinovanou hodnotu.
- 58 Relé poruchy usmerňovače (rectification failure relay). Zariadenie, ktoré je aktivované, keď usmerňovač je nevodivý, alebo keď je riadne blokován.
- 59 Prepäťová ochrana (overvoltage relay). Ochrana, ktorá pôsobí, keď je vstupné napätie vyššie ako preddefinovaná hodnota.
- 64 Ochrana detekcie zemnej poruchy (ground detector relay). Ochrana, ktorá pôsobí pri poruche izolácie stroja alebo iného zariadenia (pri zemnom spojení).
- 68 Blokovacia relé (blocking relay). Relé, ktoré aktivuje riadiaci signál pre blokovanie vypnutia pri externých poruchách na prenosových linkách, u iných prístrojov blokuje vypnutie pri preddefinovaných podmienkach, spolupracuje s iným zariadením pri blokovaní vypnutia, alebo blokuje funkcie opätovného zapnutia pri výpadku z synchronizmu alebo pri kývaní výkonu.
- 87 Rozdílová ochrana (differential protective relay). Ochrana, ktorá pôsobí na percentuálny rozdiel meranej veličiny, na rozdiel fázového úhlu alebo na iný kvantitatívny rozdiel medzi dvoma prúdmi alebo inými elektrickými veličinami.

1 ÚVOD

Prevádzka železníc, električiek, trolejbusov je ohrozená rôznymi elektrickými poruchami, ktoré môžu nastať v trakčnej sústave (TS). Na železničnej trati v Českej republike (ČR) každoročne prepraví viac ako 160 miliónov cestujúcich a viac ako 70 miliónov ton tovaru. TS vyvíjal od začiatku 19. storočia veľmi rýchlo a dnes na svete má obrovskú dĺžku. Chránenie a napájanie pri takej obrovskej dĺžke je veľmi komplikované a práve preto sú veľmi dôležité ochranné prvky, z ktorých sú stavené trakčné napájacie stanice (TNS). Máme 2 typy TNS a to na striedavú napätie trakčné transformovni (TT) a na jednosmernú napätie trakčné meniarne (TM). V roku 2002 mala Spojené štáty americké 194731 kilometrov trati, Rusko mala skoro polovičnú dĺžku, Česko mal len 9462 kilometrov trati. Používanie elektrickej energie ako pohon lokomotívy nebol od začiatku elektrifikácie jednoznačný. Od roku 1881 kedy bola postavená prvá elektrická sieť začal obchodný konflikt válka prúdu. Konflikt bol to, že standardem pre distribúciu elektrickej energie stane jednosmerný alebo striedavý prúd. Zatiaľ čo v minulosti túto kombináciu často viedlo k usmerňovaniu striedavého prúdu na jednosmerný, rozvoj silnoprúdovej polovodičovej techniky a výhody trojfázového asynchrónneho motora viedli k tomu, že dnes sa často premieňajú jednosmerný prúd na trojfázový striedavý s voliteľnou frekvenciou, ktorým sa asynchrónny trakčný motor napája. Pri prvých pokusoch i na prvých elektrifikovaných tratiach sa používal jednosmerný prúd s napätím od 600 V do 1 500 V. Dnes tieto napäťové hladiny používajú električky a trolejbusy. Ďalší vývoj začal už po druhej svetovej vojny, keď už používali 3 kV jednosmerných, lebo povojnové vlaky mali už väčší výkon. V ČR sa vývoj začal s jednosmerným napájaním s pomocou inžiniera Františka Křížika. Priekopníkom využitia striedavého prúdu na železnici bol „otec elektrického vlaku“ Kálmán Kandó, ktorý v roku 1894 vyvinul vysokonapäťový indukčný trojfázový motor a generátor pre elektrické lokomotívy. TS s striedavým napätím 25 kV a s frekvenciou 50 Hz používajú od začiatku ako najvýhodnejší v budúcnosti a preto v roku 1959 aj v ČR sa rozhodli pri tejto typu napájaní. Medzi dôvodom elektrifikácie trati bol aj narastajúci význam ekologických argumentov a vývoj nezmenil ani ropná kríza z roku 1973, ktorá zmenila prístup k energetickým zdrojom. V roku 2009 mala ČR 9513 kilometrov trati z ktorého 2997 kilometrov bol elektrifikované. 58% bol s 3 kV jednosmerným napätím a 42% bol s 25 kV striedavým napätím. Medzi poruchami, ktoré môžu nastať v TS majú najväčšou hrozbu elektrické skraty a rôzne prepätie. Elektrické ochrany patria k najdôležitejším prvkom TS a zaisťujú bezpečnú prevádzku jej jednotlivých častí akými sú, napríklad transformátory, generátory, vedenia a spotrebiče.

2 SÚČASNÝ STAV TS

Slovo trakce pochádza z latinského slova trahere, ktorý naznačuje na slovo ťahanie. [10] Má viaceré významy, ale v tomto práci budem písať len o bode 2:

- môže byť pohon v lokomotívach, v električkách alebo iný zdroj sily pri nákladnej alebo osobnej doprave
- alebo môžeme používať ako súbor technických zariadení, ktoré slúžia k prenosu elektrickej energie z stabilnej sústavy do dráhového vozidla
- v medicíne používame slovo trakce, keď liečime ľudské kostry pomocou ťahom

2.1 Železničná doprava

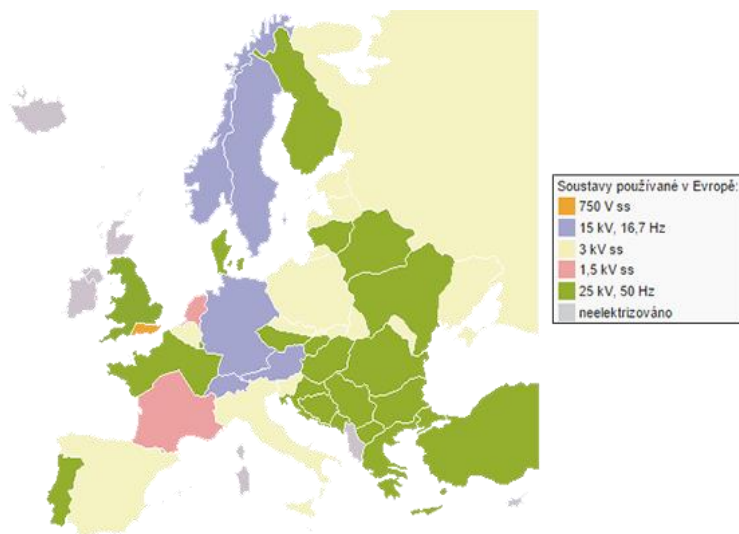
Železničná trakcia delíme na závislé, nezávislé a na animálne. Animálna trakčná doprava bola pred vynálezom parného rušňa, boli to omnibusy ťahané pomocou koňmi. Medzi vozidlá závislej trakcie patria všetky elektrické rušne, s výnimkou elektrických akumulátorových rušňov a patria sem aj elektrické jednotky a vozne. Tieto koľajové vozidlá sú závislé od dodávky energie zvonka prostredníctvom trolejového (trakčného) vedenia. Medzi vozidlá nezávislej trakcie patria všetky motorové rušne, motorové vozne, motorové jednotky, parné rušne a parné vozne. Nezávislé koľajové vozidlá nie sú závislé od dodávky energie zvonka, ale zdroj trakčnej energie je ich súčasťou. [10]

Železničná napájacia sústava delíme podľa: [5]

- technické riešenie - použitie trolejového vedenia (jedno- alebo viacvodičového) alebo napájacej koľajnice
- napätie - používajú sa napätia od 600 V do 25 000 V
- priebeh prúdu - jednosmerný, striedavý prúd

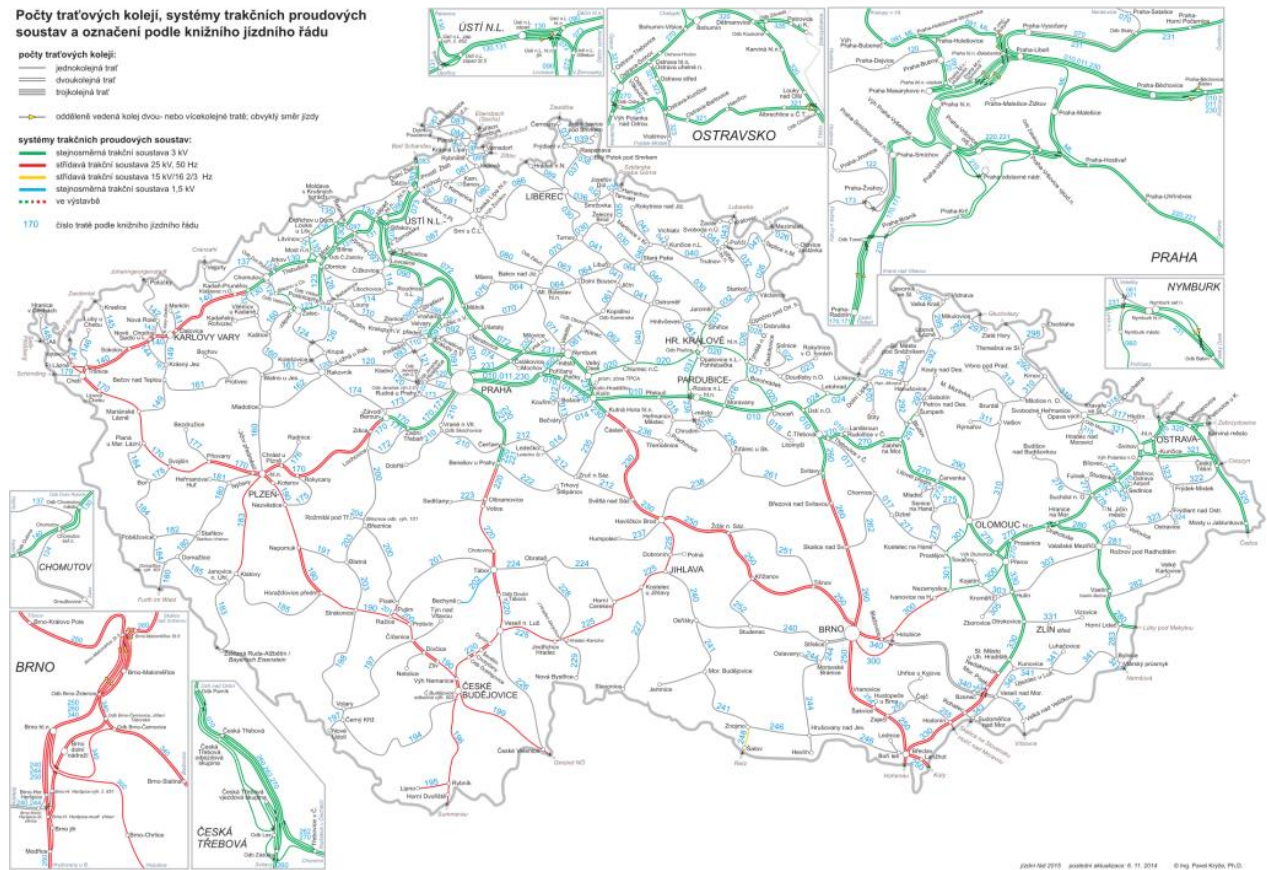
V prípade striedavého prúdu ďalej podľa:

- počet fáz - poznáme jednofázové a trojfázové sústavy
- frekvencia - 15 Hz, 16,7 Hz (pôvodne 16⅔ Hz) a 50 Hz



Obr. 2-1 Systavy používané v Európe [1]

Problematický je i prechod vlaku medzi dvoma sústavami - ak vlak neťahá viacsystémový rušeň, je potrebný preprah. V prípade viacsystémového rušňa je nutné stiahnuť zberač elektrického prúdu pred niekoľkokometrovým neutrálnym poľom, prepnúť výzbroj rušňa do nasledujúcej sústavy a vztýčiť zberač pod trolejom druhej sústavy. [5] Podľa predpisu odber lokomotívy musí byť nulový pri prechode cez neutrálnymi poľami ale kvôli deličom je možné prechod s malým odberom ale v tomto prípade generujeme oblúk medzi kontaktmi deliča.



Obr. 2-2 Elektrifikace v ČR [3]

Hlavným trendom je postupné presadzovanie úspornejšej, ale technicky náročnejšej striedavej trakcie nad jednosmernou. Medzi najdôležitejšie zmeny, ktoré ovplyvňovali elektrický pohon vlakov, patrí:

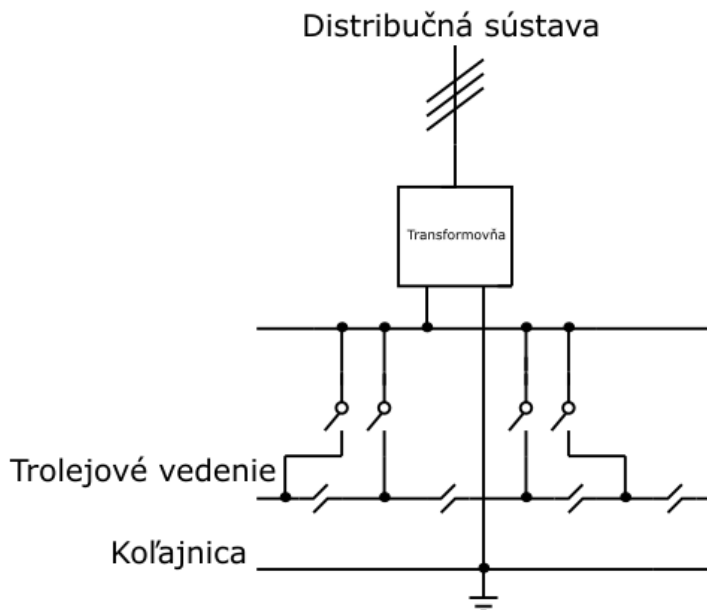
- rozvoj elektrickej distribučnej siete
- pokrok v konštrukcii elektrických motorov
- vývoj polovodičovej techniky a riadiacej elektroniky

Jednosmerná napájacia sústava vyžaduje iba jeden trolejový vodič (respektívne napájaciu koľajnicu), druhý pól je v koľajniciach. Nevýhoda je v tom, že dochádza k vzniku blúdivých prúdov. Použitie trojfázového prúdu viedlo k nutnosti vybudovať dvojvodičové trakčné vedenie (tretia fáza bola v koľajniciach). [5]

Pri prejazde vlaku sa potenciál koľaje proti zemi menia v závislosti na jeho vzdialenosti od TT alebo od TM. Čím väčší je tento prechodový odpor tým väčší je nebezpečie chybného zapôsobenie koľajového prízrazky a vzniku nebezpečného napätie na neživé časti zariadenie v koľajisti.

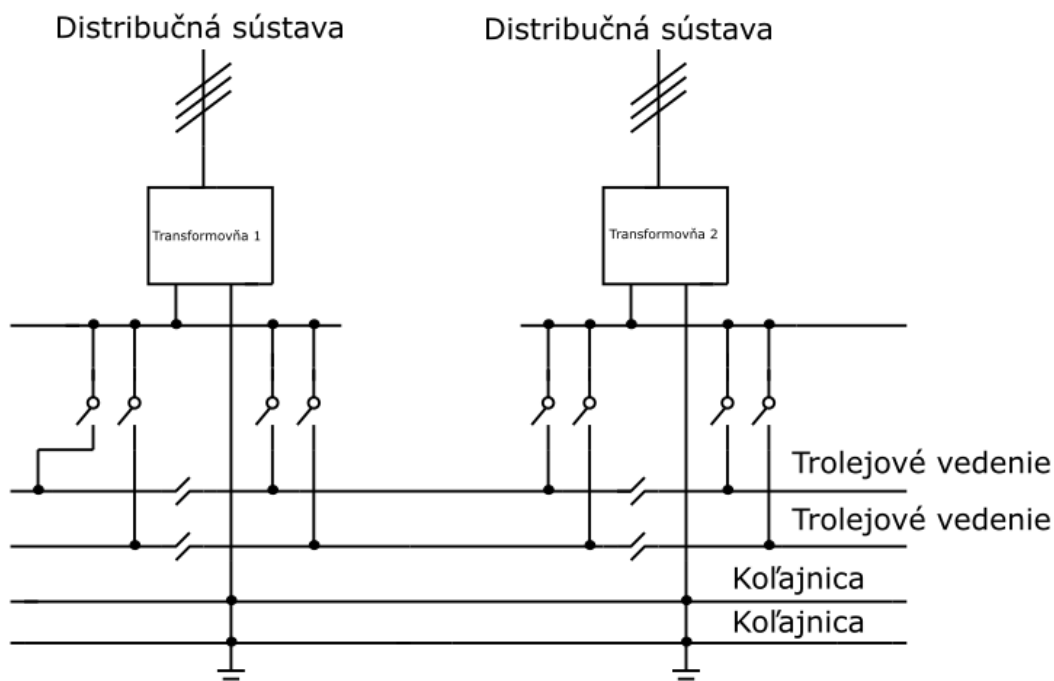
Podľa spôsobu napájanie jednotlivých napájacích úseku poznáme tieto spôsoby napájanie:

- Jednostranné napájanie



Obr. 2-3 Jednostranné sústredené napájanie

- Dvojstranné napájanie
- Dvojstranné rozložené napájanie dvojkoľajnej trate



Obr. 2-4 Dvojstranné rozložené napájanie dvojkoľajnej trate

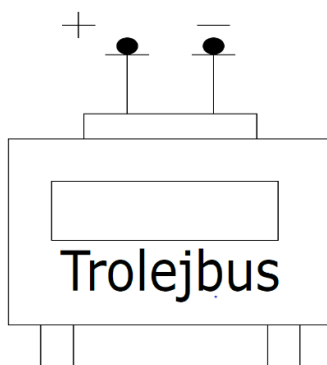
- Štvorstranné napájanie dvojkoľajnej trate s spínacími stanicami

Na obrázku 2-3 a 2-4 je princíp napájanie obecné. Distribučná sústava môže byť 110 kV aj 220 kV. Medzi trolejovou vedenie a koľajnicou môže byť napätie podľa obrázku 2-1 a preto

môžeme používať na každú napäťovú úroveň a podľa toho nájdeme vhodnú transformátor s prevodom a výkonom.

2.2 Trolejbusy

Podľa [2] trolejbusová doprava vyvíjal sa od prelomu 19. a 20. storočia. Trolejbus primárne používa k pohonu elektromotor, alebo môže byť duobus ktorý ako sekundárni pohon používa dieselový agregát pro prejazd nezatrolejovaného územia. Vozidlo je napájané skrz dva tyčové zberače z dvojvólového trolejového vedenia o hodnote 600 V, v niektorých miestach používajú 750 V jednosmerných. Jeden vodič je kladný pól, druhý vodič používame ako záporný pól. Pomocí moderných polovodičových prvků môžeme elektromotor používať ako dynamo a pri brzdení vyrobíme elektrickú energiu, ktorú môžeme dať späť do TS. Norma **ČSN 37 6750 (376750): Trakční měničky pro tramvajové a trolejbusové dráhy** zaoberá s problematikou TM pri trolejbusoch a električkách.



Obr. 2-5 Schéma trolejbusov

2.3 Elektrická diaľnica pre kamióny

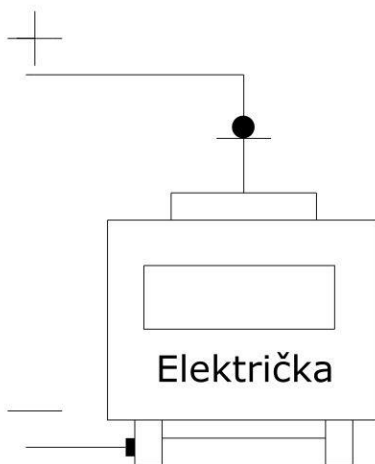
Od roku 2016 firma Siemens pustil do testovacej elektrickej diaľnice od severne Štokholmu. Od 7. mája 2019 testujú naostro v Nemecku. Princíp je rovnaký ako používajú dubusy ktoré je na obrázku 2-5. Majú rovnaký pantograf s ktorým nabíjajú akumulátory na kamiónoch. Elektromotory nákladných vozidiel eHighway tiež umožňujú rekuperáciu brzdného energie, ktorú vozidlá môžu vracáť do siete, alebo využiť na dobíjanie batérií. Najviac používajú 700 V jednosmerných.



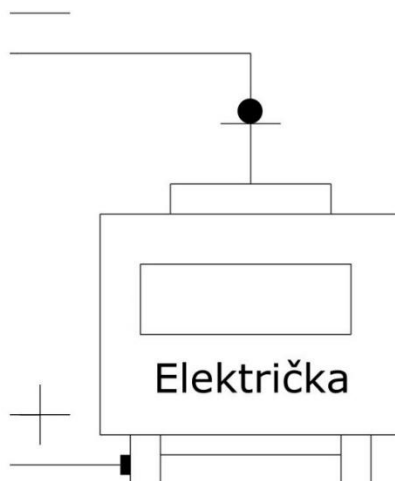
Obr. 2-6 Kamión s pantografom [16]

2.4 Električky

Podľa [2] električka patrí medzi ľahkými trakčnými vozidlami. Prvý električky jazdili v Berlíne v roku 1881. Električky sú napájané pomoci pantografu z TS o hodnote 600 V, v niektorých miest používajú 750 V jednosmerných. Najviac používajú zapojenie na Obr. 2-6, kde kladný pól je zapojené na vedenie, záporný je zapojení na koľajnice ale existuje aj opačný spôsob, ktorý je na Obr. 2-7.



Obr. 2-7 Schéma električiek, kladný pól v vedenie



Obr. 2-8 Schéma električiek, záporný pól v vedenie

3 PORUCHOVÉ STAVY PRI TS

Blúdivé prúdy, prepätie a skraty majú na TS veľmi negatívne dôsledky a preto sú dôležité elektrické ochrany. Dôležité je aj to, že prevádzkové hodnoty musia byť v rozpätí, ktoré sú napísané v normách, ktorí sú napísané v kapitole 6. V TS príliš vysoké alebo príliš nízke napätie alebo odchýlku frekvencie od nominálnej hodnoty nemôže nastať. Hlavnou úlohou elektrických ochrán je sledovanie stavovej veličiny chráneného objektu. Napäťové rozpätie sú napísané v normách podľa kapitoly 6, a používajú najviac pre bezpečný provoz TS.

Tab. 3-1 Maximálne poruchové prúdy pri skratu medzi vedením a koľajnicou [8]

Trakčná prúdová sústava	Maximálny poruchový prúd
AC 15 kV, 16,7 Hz	40 kA
AC 25 kV, 50 Hz	15 kA
DC 1,5 kV	100 kA
DC 3 kV	50 kA

3.1 Blúdivé prúdy

Podľa [9] najväčšie dopady majú blúdivé prúdy v okolí elektrifikovaných železničných tratí. Blúdívý prúd tečie v zemi cestami najnižšieho odporu, vrátane kovových potrubí a vodivých prvkov stavebných konštrukcií. Na rozhraniach medzi vodičmi a vlhkou pôdou dochádza k elektrolýze, ktorá spôsobuje koróziu kovových štruktúr. Trakcia využívajúca jednosmerný prúd je približne 100 krát problematickejšia ako striedavá, lebo v prípade striedavého prúdu si kovové konštrukcie rolu anódy a katódy periodicky vymieňajú s frekvenciou rovnou sieťovej, takže korózia je pomalšia (materiál, ktorý sa pri kladnej polarite uvoľní, sa pri zápornej naviaže). V prípade toku jednosmerného prúdu dochádza k trvalému rozrušovaniu konštrukcie v role anódy. Účinky blúdivých prúdov závisia na polarite zdroja.

Na Obr. 3-6 vidíme zapojenie, kde kladný pól je v trolejovom vedení (respektívne v napájacej koľajnici) a záporný pól v koľajniciach, sú dopady korózie sústredené do okolia meniarňí. Toto zapojenie používajú viac ako napríklad na železnici, v pražskom metre a na väčšine električkových tratí (napríklad v Bratislave, Prahe, Olomouci).

V opačnom prípade na Obr. 3-7 (kladný pól v koľajniciach, záporný v trolejovom vedení) ku korózii dochádza v mieste, kde sa práve nachádza hnacie vozidlo, z dlhodobého hľadiska teda rovnomerne pozdĺž celej trate. S týmto zapojením sa stretáme mestách, kde v minulosti fungovala intenzívna nákladná električková doprava (Brno, Ostrava, Košice). Obava pred dopadmi účinkov blúdivých prúdov na mestskú infraštruktúru a základy budov viedla pri stavbe londýnskeho metra k napájaniu vozidiel dvoma izolovanými napájacími koľajnicami namiesto jednej.



Obr. 3-1 Následky bludivého prúdu [17]

3.2 Skraty

Jednotlivé napájacie úseky v žiadnom prípade nemôžeme prepojiť, lebo v prípade kedy napájacie úseky prepojíme sa stane medzifázový skrat. Táto podmienka musí byť splnená aj pri prejazdu lokomotívy z jedného napájacieho úseku do druhého. Tepelné a dynamické účinky prúdu, ktorý vznikajú v mieste skratu môžu spôsobiť vážne škody. O medzifázne skrate hovoríme vtedy, keď 2 alebo 3 fáze siete, ktoré sú pod napätím sa dostanú do kontaktu medzi sebou a v prípade, keď nastane kontakt medzi fázou pod napätím a zemou, hovoríme o zemní skrat.

Pri skratu a zemného spojenie rozhodujúci je spôsob prevádzky elektrickej siete.

Siete s izolovaným uzlom transformátora majú uzol transformátora odizolovaný od zeme. Uzol transformátora má nulový potenciál. Pri spojení hovoríme o zemnom spojení.

Siete s neúčinne uzemneným uzlom transformátora majú medzi uzol zdroja a zem tlmivku. Pri spojení hovoríme o zemnom spojení.

Siete s priamo uzemneným uzlom pri spojení fázového vodiča so zemou vzniká skrat a sieť sa vypína. Transformátory TNS a TM majú najviac zapojení s priamo uzemneným uzlom a pri spojení hovoríme o skratoch.

Pri skratoch na trakčnom vedení musí vypínače odpojiť vedenie najviac do 0,6 s.

Spojenie jedného fázy s zemou vedenie môže byť:

- jednofázový skrat
- jednofázové zemní spojení

Vzájomné spojenie dvoch fáz vedení sú:

- spojenie medzi dvoma fázami – dvojfázový skrat
- spojenie dvoch fáz s zemou v jednom mieste vedenie – dvojfázový zemní skrat
- spojenie dvoch fáz s zemou v rôznych miestach vedenie, ktoré sa delíme na:
 - dvojitý zemní skrat
 - dvojité zemné spojení

Vzájomné spojenie troch fáz vedenie môžeme deliť na:

- spojenie medzi tromi fázami – trojfázový skrat
- spojenie troch fáz s zemou v jednom mieste vedenie – trojfázový zemní skrat
- spojenie troch fáz s zemou v rôznych miestach vedenie, ktoré delíme na:
 - trojitý zemní skrat
 - trojité zemné spojení

3.3 Prepätie, podpätie a nadpätie

Prepätie je napätie, ktorý má vyššiu amplitúdu ako menovitá hodnota TS. Môže vzniknúť kvôli zemným spojením alebo dôsledkom atmosférických prepätí. Prepätie na vedenie je nebezpečné kvôli tomu, že môže extrémne namáhať izoláciu vodiča, čo môže spôsobiť ďalšie poruchy v sieti. **Norma ČSN 38 0810 (380810): Použití ochrany před přepětím v silových zařízeních** udáva obecné informácie o ochranách v tejto problematike a norma **ČSN EN 50124-2 (333501): Drážní zařízení - Koordinace izolace - Část 2: Přepětí a ochrana před přepětím** zaoberá s prepätiami za sekundárni vinutie transformátoru TNS a TM.

Podpätie je napätie, ktorý poklesá pod hodnotu menovitého napätia. Nadpätie je vtedy ak menovitú hodnotu TS prekročíme len málo (maximálne desiatky voltom). Od prepätia sú odlišný tým, že trvajú viac. Podpätie a nadpätie vznikajú kvôli regulácii napätia v sústave, nevhodným nastavením regulácie transformátora, alebo pri odľahčení záťaženia generátoru. Podpätie môžu spôsobiť rôzne javy, ako napríklad zvýšenie prúdu nad menovité hodnotu zariadenia.

Používajú svodiče prepätia, bleskoistky s nelineárnymi rezistormi a iskrištou a beziskrištové obmedzovače. Ochrany dajú v mieste kde zmení impedancie vedenie. [7]

4 OCHRANY

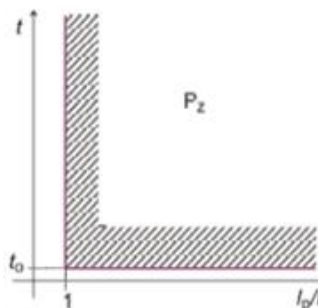
Hlavnou úlohou elektrických ochrán je sledovanie stavovej veličiny chráneného objektu a následné vypnutie poruchy.

4.1 Nadprúdové ochrany

Podľa [11] nadprúdové ochrany sledujú veľkosť fázových prúdov a reagujú v prípade, keď veľkosť nameraného prúdu I prekročí hodnotu prednastaveného prúdu I_p . Reagujú pri skratoch (medzifázové, zemné) a na pretíženie a preto sú najpoužívanejším typom elektrických ochrán vo rozvodniach. Pri nastavení ochrany musíme zabezpečiť aj to, aby ochrana nevybavila pri každom prechodnom zvýšení prúdu I_p . Pre zaistenie tejto podmienky môžeme využiť nastavenie času t_k . Do tejto doby ochrana ešte nevypne a hovoríme len o prechodnom preťažení. U nadprúdových ochrán poznáme niekoľko typov základných charakteristík. Sú to charakteristiky časovo závislé, časovo nezávislé, časovo polozávislé a charakteristiky okamihové. Pri TS používame okamihovú a časovo nezávislú nadprúdovú ochranu.

4.1.1 Okamihová nadprúdová ochrana

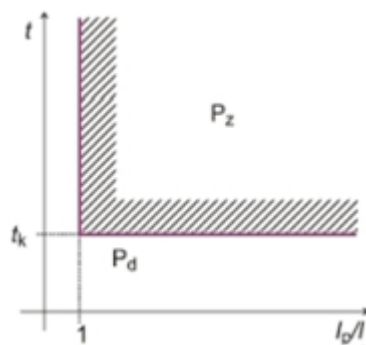
Vypínací signál je vyslaný do vypínača hneď ako nastane nadprúd - bez žiadneho časového oneskorenia. Okamihové nadprúdové ochrany sa používajú blízko pri zdroji, kde riziko výskytu poruchy je veľmi vysoké a už aj malé časové oneskorenie vypínacieho signálu môže spôsobiť veľké škody na chránenom zariadení. [11]



Obr. 4-1 Charakteristika okamihovej ochrany [11]

4.1.2 Časovo nezávislá nadprúdová ochrana

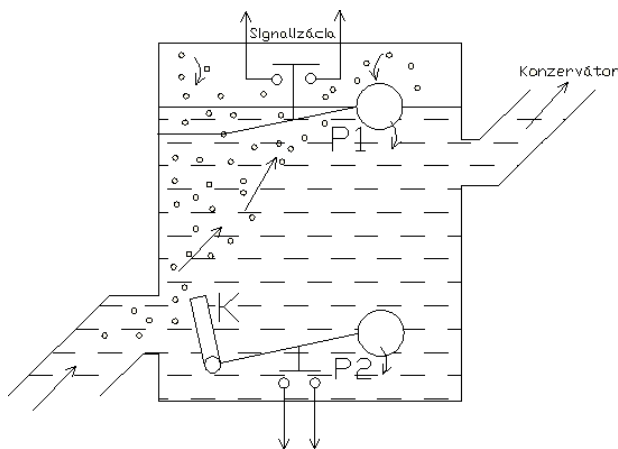
Vypínací signál je vyslaný do vypínača po uplynutí vopred nastaveného času. Tento druh nadprúdovej ochrany sa zvyčajne používa ako záložná ochrana. Ak hlavná ochrana nezareaguje a nevyšle vypínací signál, potom je využitá záložná ochrana. Nastavenie vypínacieho času časovo závislej ochrany vo funkcii záložnej ochrany musí byť väčší ako vypínací čas hlavnej ochrany plus vypínací čas vypínača. [11]



Obr. 4-2 Charakteristika časovo nezávislej ochrany [11]

4.2 Buchholzové relé

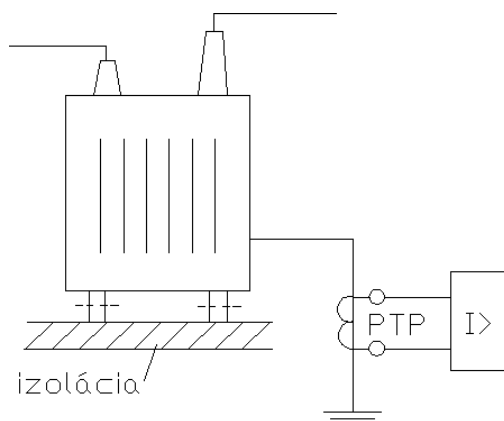
Podľa [12] buchholzové (plynové) relé sa používa na ochranu olejových transformátorov a vkladá sa do spojovacieho potrubia medzi nádobu transformátora a dilatačnú nádobu (konzervátor). Plynové relé reaguje na vývin plynov v oleji (vodík, metán, kyslíčnik uhoľnatý a uhličitý, dusík a na iné typy plynov) spôsobené prehriatím niektorej časti transformátora pri preťažení vinutia, nadmerným oteplením spôsobeným skratom, na unikanie oleja z nádoby alebo vniknutí vzduchu do oleja. Pri poruchách, ktoré priamo neohrozujú bezpečnosť prevádzky (vývin plynov v oleji), relé poruchu iba signalizuje. Pri poruchách ohrozujúcich bezpečnosť prevádzky (rýchle prúdenie oleja) dáva relé impulz k okamžitému vypnutiu transformátora.



Obr. 4-3 Buchholzová plynová relé princíp fungovanie [12]

4.3 Kostrová ochrana

Podľa [12] transformátor je uložený na izolačnej podložke. Kostra transformátora (nádobu) je spojená so uzemňovacou sústavou transformátorovne vodičom, ktorý prechádza prístrojovým transformátorom prúdu. Pri preskoku na priechodkách alebo na vinutie na nádobách preteká prúd cez prístrojový transformátor prúdu do zeme a prúdová ochrana vyvolá vypnutie. Aby nedošlo k chybnému pôsobeniu musí prechádzať všetky káble pomocných obvodov (ventilátory, osvetlenie, diaľková regulácia prepínania odbočiek aj.) cez transformátor prúdu. Potom je ochrana selektívna, pretože skratový prúd pomocných obvodov sa vzájomne odčíta.



Obr. 4-4 Kostrová ochrana princíp fungovanie [12]

4.4 Vysokonapäťové poistky

Obmedzujú účinok skratových prúdov tým, že prerušia obvod skôr ako skratový prúd dosiahne maximum. Vypínajú len jednu fázu a preto sa používajú aj v kombinácii s odpínačom, ktorý po detekcii prerušenia prúdu v jednej fáze vypína všetky tri fázy. [13]

4.5 Zvodiče prepätia

Podľa [13] prepätia v jednotlivých častiach elektrických sietí sú prechodného charakteru a majú charakter rázovej vlny. Zvodiče prepätia obmedzujú účinky vzniknutých prepätí (vonkajšie – atmosférické alebo vnútorné – spínacie) na hodnoty bezpečné pre chránené zariadenia. Používajú sa najmä na ochranu vonkajších vedení a transformátorov. Ochranné hladiny zvodičov prepätia sa volia na úrovni 80 % izolačných hladín chránených zariadení (izolačná hladina je daná skúšobným napätím zariadenia) .

4.5.1 Ochranné iskrišťa

Podľa [13] poskytujú len hrubé chránenie zariadení proti prepätiu. Pri prepätí spôsobujú ochranné iskrišťa prechodné spojenie so zemou, takže vzniká zemné spojenie alebo skrat. Používajú sa ako paralelná cesta na izolačných prvkoch elektrických zariadení a ich význam spočíva v tom, že priaznivé dráha sa posunie od povrchu chráneného zariadenia a tým sa zabráni jeho zničeniu tepelným účinkom oblúka, ktorý vznikne po preskoku.

4.5.2 Bleskoistka

Sú určené na ochranu pred vysokými prechodnými prepätiami a na obmedzenie doby trvania a veľkosti následného prúdu. Obmedzujú najmä prepätia atmosférického pôvodu na bezpečnú hodnotu, ale môžu zlyhať pri pomalších spínacích javoch, pre ktoré sa výhodne uplatní koordinčné iskrište. Bleskoistka pôsobí ako dokonalý elektrický ventil, ktorý sa bez časového oneskorenia otvára pri nebezpečnom prepätí. [13]

V jednosmernom TS s napätím 3 kV na vedenie používajú bleskoistky s vzdialenosťou elektród 10 ± 1 mm.

V striedavom TS s napätím 25 kV a s frekvenciou 50 Hz na vedenie používajú bleskoistky s vzdialenosťou elektród 120 ± 1 mm, pred TT a v spínacej stanici a v prípade, kde je dôvod na zvýšení vzdialenosti používajú 150 ± 1 mm.

Pre iné TS vzdialenosť elektród vypočítame podľa empirického vzorca:

$$d = (2,17 \times U - 9) \times (1 - 0,13 \times 10^{-3} \times h) \quad (4.1)$$

d je vzdialenosť elektrod v mm,

U je ochranná hladina v kV,

h je nadmorská výška v m. [7]

4.5.3 Ventilová bleskoistka

Podľa [13] zvodnič prepätia s nelineárnymi odpormi a iskrišťami, ktorá má priaznivú zapaľovaciu charakteristiku pre striedavý prúd, pretože samočinne zháša následný prúd vyvolaný horením oblúka bez ohľadu na veľkosť skratového prúdu a strmosť zotaveného napätia bleskoistky. Nespôsobuje skrat v sieti, ani nebezpečné nárazové vlny. Skladá sa zo sériových iskrišť vzduchotesne uzavretých v porcelánovom puzdre, ktoré sú aj s ostatnými napäťovo závislými odporovými blokmi uzavreté vo vzduchotesnom porcelánovom plášti bleskoistky.

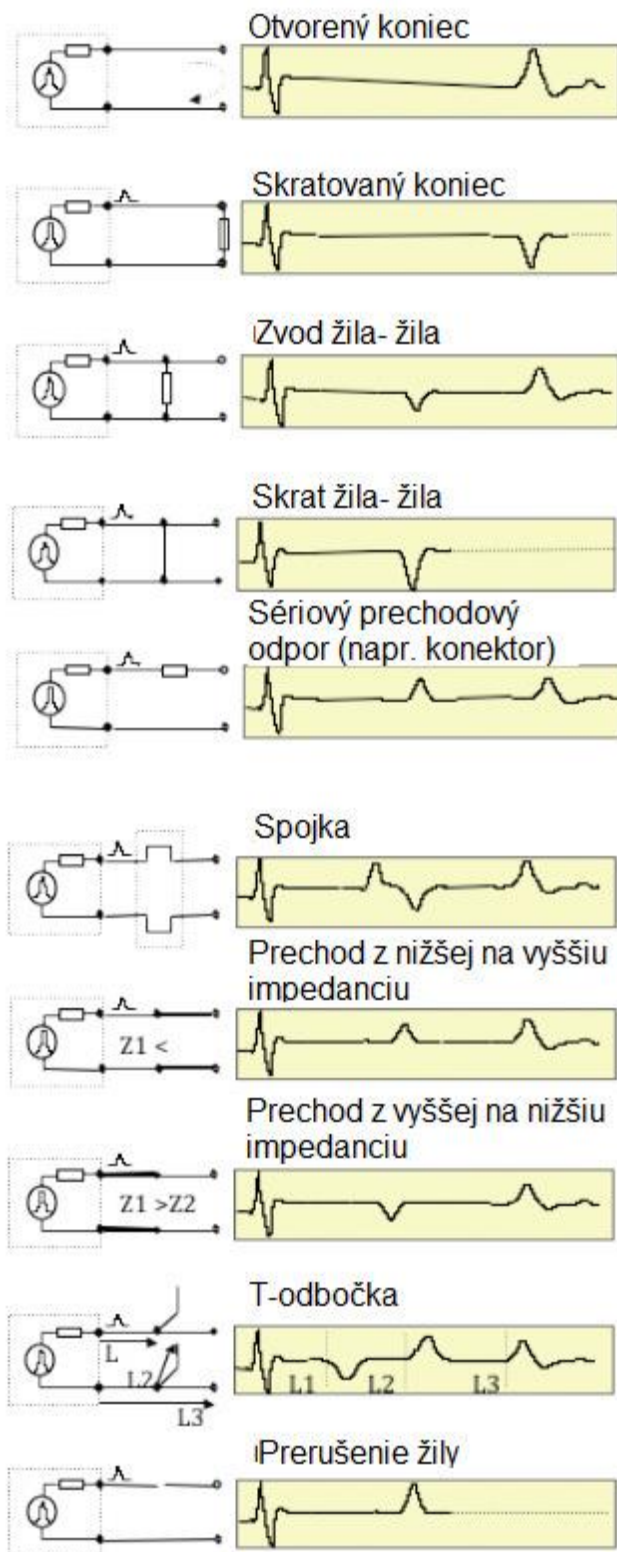
4.6 Lokátory

Problematika lokalizácie porúch je veľmi komplexná, lebo v TS máme niekoľko typov káblov a aj rôzne typy porúch. Môžeme používať niekoľko typov meranie. Reflektometry použijeme na približné predmeranie vzdialenosti miesta poruchy, ako prvé priblíženie na zorientovanie vzdialenosti. Potom na bodovú lokalizáciu použijem bodovú upresneniu miesta pomocou metódy krokového napätia.

4.6.1 Reflektometrické meranie (TDR)

Podľa [18] reflektometrické meranie (alebo TDR = Time Domain Reflectometry) je kľúčovou metódou pri lokalizácii káblových porúch. Pre lokalizáciu na VN-kábloch sú potrebné špeciálne typy reflektometrov, ktoré podporujú aj špeciálne meracie metódy na premeranie vysokoohmových porúch v kombinácii s ďalšími výkonovými zariadeniami, ako sú rázové generátory alebo skúšobné zdroje.

Princíp reflektometra je analogický s princípom radaru, prístroj pripojený medzi 2 žily (alebo na tienených kábloch medzi žilou a tienenie) vyšle impulz do kábla. Tento impulz sa čiastočne alebo úplne (v závislosti od typu závady) odrazí od miesta impedančnej zmeny v kábli a na displeji sa zobrazí krivka (reflektogram). Zo zmeraného času od vyslania impulzu po prijatie reflexie je prístroj schopný vykalkulovať vzdialenosť miesta impedančnej zmeny (poruchy) na kábli, pričom užívateľ musí prístroju zadať polovičnú rýchlosť šírenia impulzu v kábli „ $v/2$ “. Z fyzikálneho princípu reflektometrickej metódy vyplýva, že zamerateľné sú len zvody medzi žilami, ktorých prechodový odpor je rádovo do 200 Ω . Akonáhle je prechodový odpor zvodu nad túto hodnotu, činiteľ odrazu je príliš malý a čiastková reflexia z miesta poruchy nie je na krivke dostatočne rozpoznateľná. Čím je prechodový odpor paralelnej poruchy (zvodu) nižší, tým je amplitúda reflexie z miesta poruchy väčšia. V extrémnom prípade tvrdého skratu 0 Ω nastáva totálny odraz (záporná reflexia) s vysokou amplitúdou z miesta skratu a za túto udalosť už na krivke nie je viditeľný odraz z konca kábla alebo z prípadných ďalších porúch.

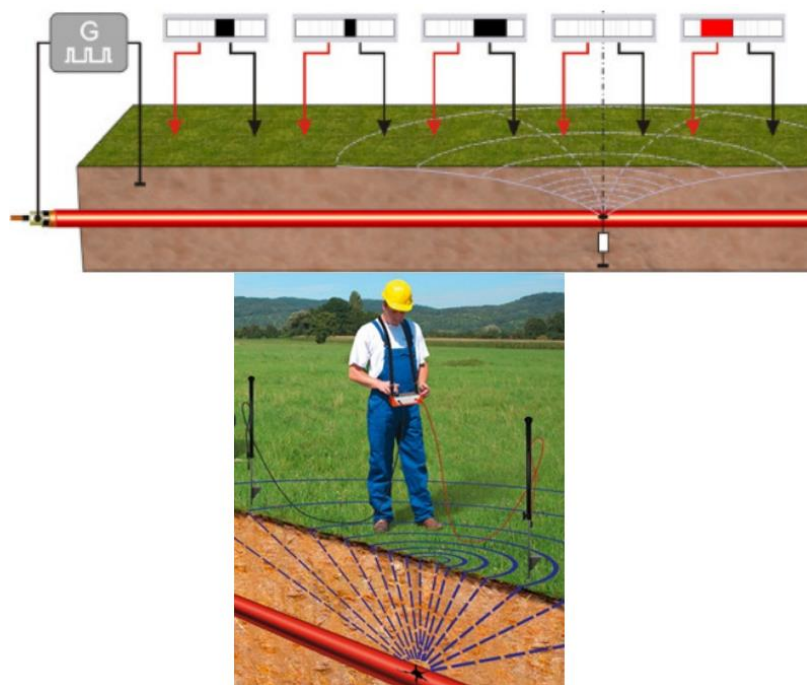


Obr. 4-5 Reflektogramy pri rôznej typy porúch [18]

4.6.2 Bodové upresnenie miesta poruchy metódou krokového napätia

Podľa [18] najvýkonnejšou a najpresnejšou metódou na bodovú lokalizáciu zemných spojení je metóda krokového napätia. Do žily, ktorá má zemné spojenie, púšťame jednosmerné pulzné napätie proti zemi. Ako zdroj sa používajú väčšinou prenosné prepaľovacie zdroje, ktoré sa zároveň používajú na zníženie prechodového odporu poruchy. V mieste poruchy vzniká tzv. napäťový

lievik a pomocou špeciálneho prijímača krokového napätia so snímacími sondami je možné detekovať krokové napätie, pričom smer pravidelných výchyliek galvanometra prijímača nás navádza na miesto poruchy. Táto metóda má vysokú efektivitu aj pri poruchách, ktoré majú ešte relatívne vysoké prechodové odpory medzi žilou a zemou a umožňuje bodovo lokalizovať miesto poruchy v teréne s presnosťou na niekoľko centimetrov.



Obr. 4-6 Princíp bodového upresnenia miesta poruchy [18]

ŽSR používa lokátor plášťových porúch a zemných spojení ESG NT a prijímač rázových vĺn DigiPHONE+.



Obr. 4-6 Lokátor plášťových porúch a zemných spojení ESG NT a prijímač rázových vĺn DigiPHONE+ [19]

5 TRAKČNÁ NAPÁJACIE STANICE A MENIARNE

TS je napájaná trakčným prúdom z trakčných napájacích staníc. TS sa delí na napájací úseky za účelom obmedzení veľkostí lokalizácie porúch a k obmedzení veľkostí napájacích prúdu. Tieto napájací úseky sú od seba izolované s neutrálnymi poľami a napájanie oddelene pomoci TT a TM.

Tab. 5-1 Menovité napätie a prípustné rozpätie ich hodnôt [6]

Trakční prúdová sústava	Menovité napätie[V]	Najnižší stálé napätie	Najnižší nestálé napätie	Najvyšší stálé napätie	Najvyšší nestálé napätie
	U_n [V]	U_{min1} [V]	U_{min2} [V]	U_{max1} [V]	U_{max2} [V]
Jednosmerná (strední hodnoty)	600	400	400	720	800
	750	500	500	900	1000
	1500	1000	1000	1800	1950
	3000	2000	2000	3600	3900
Striedavá (efektívni hodnoty)	15000	12000	11000	17250	18000
	25000	19000	17500	27500	29000

- Hladina napätie medzi U_{min1} a U_{min2} nesmie trvať viac ako 2 minút
- Hladina napätie medzi U_{max1} a U_{max2} nesmie trvať viac ako 5 minút
- Napätie naprázdno na sbernicích TNS a TM nesmie prekročiť hodnotu U_{max1}
- Za normálnych provozních podmínek nesmie hladina napätie klesnúť pod U_{min1} a prekročiť hranicu U_{max2}
- Za mimoriadnych provozních podmínek nesmie hladina napätie v rozmedzí od U_{min2} do U_{max1} mať za následok žiadne škody ani poruchy
- Pokud hladina napätie pohybuje sa v rozmedzí U_{max1} a U_{max2} , musí na nespresnený časový úsek nasledovať hladina nižší alebo rovná hodnotu U_{max1} . Napätie medzi U_{max1} a U_{max2} môže byť len pri krátkodobých stavoch ako je:
 - rekuperační brzdenie
 - prepínání u systému pre regulaci napätie ako u mechanického prepínače odbočiek

5.1 Striedavá TS

Striedavá TNS sú rozvodni kde sa nepredpokladajú rozširovanie rozvodne a preto rozvodné zariadenie sú bez prípojnic. Sú to zariadenia s malým počtom odbočiek a je možné ich pokladať za špeciálny prípad zapojenia s okružnými prípojnicami, kde namiesto prípojnic sú spojky medzi odbočkami. Okružné prípojnice používajú tam, kde sa vyžaduje obmedzenie následkov skratov v rozvodni na minimálny počet odbočiek.

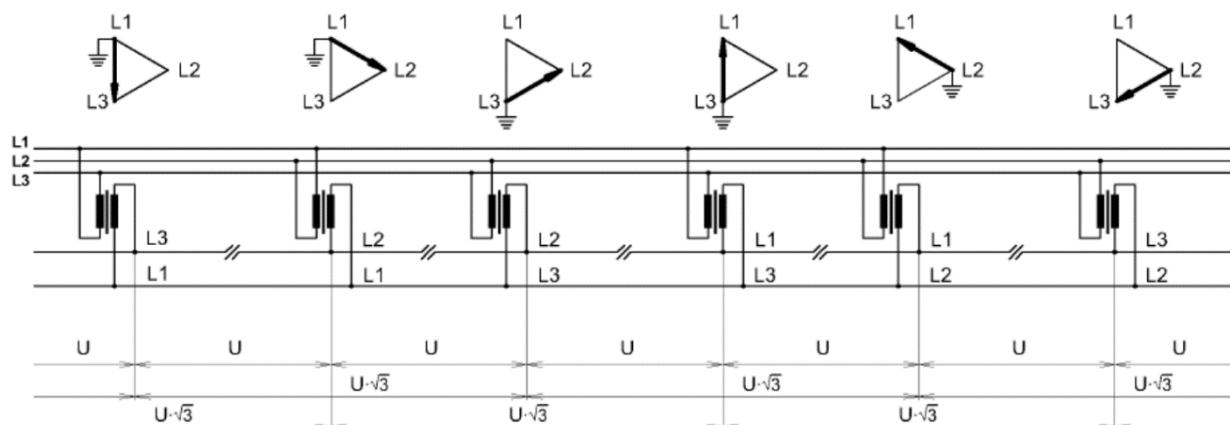
Výhody striedavej TS sú:

- s vyšším napätím môžeme prevádzať lokomotívy s vyšším výkonom
- môžeme používať menší prierez trolejového vedenie a preto sú ekonomickejšie
- máme nízku impedancie vedenie a preto máme menší ztráty
- vzdialenosť medzi TNS je vyšší ako u striedavej TS a preto musíme budovať menej elektrickej stanici

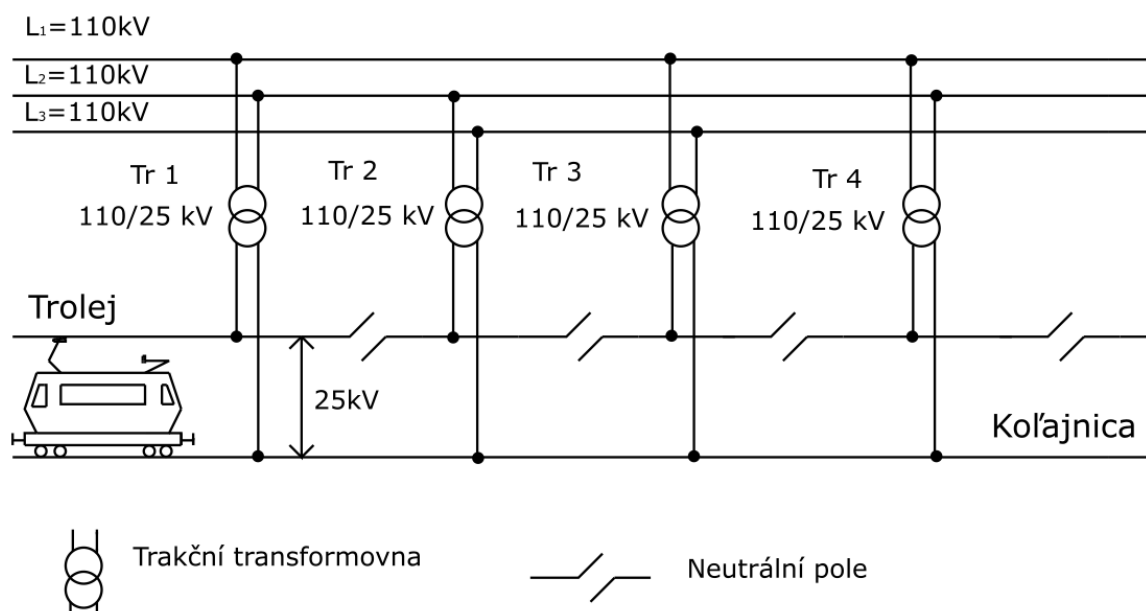
- v TT nepotrebuje usmerňovače s ochranami a preto je TNS jednoduchší

5.1.1 1 fázova sústava s napätím 25 kV a frekvenciou 50 Hz

Podľa [15] TS s napájaním s striedavým napätím 25 kV a s frekvenciou 50 Hz z elektrického siete má jeden veľký problém a to, že je jednofázová sústava a elektrická sieť je trojfázová a preto zatežovanie trojfázovej siete nesymetrickým jednofázovým odberom spôsobuje v sieti problémy. Preto sú v normách napísané to, že aký môže byť odber a pomer skratového výkonu siete k odebíranému výkonu. Najviac používajú 1 fázový transformátor z 110 kV a dimenzujú na plný výkon TT a odebíraný výkon môže byť 2% skratového výkonu siete. Primárne vinutie transformátoru sú zapojené medzi 2 fázami 110 kV vedenie, ktoré kvôli zmenšeniu účinku nesymetrického zatiaženia fázy striedajú a sekundárne vinutie je napojené medzi trakčného vedenia a koľajami, ktoré sú používané ako zem TS. Striedaním fázy pochádza k fázovému posunu medzi úsekmi TS o 120° a preto je medzi úsekmi $\frac{25000}{\sqrt{3}}$ V, a sú chránené neutrálnymi poľami.



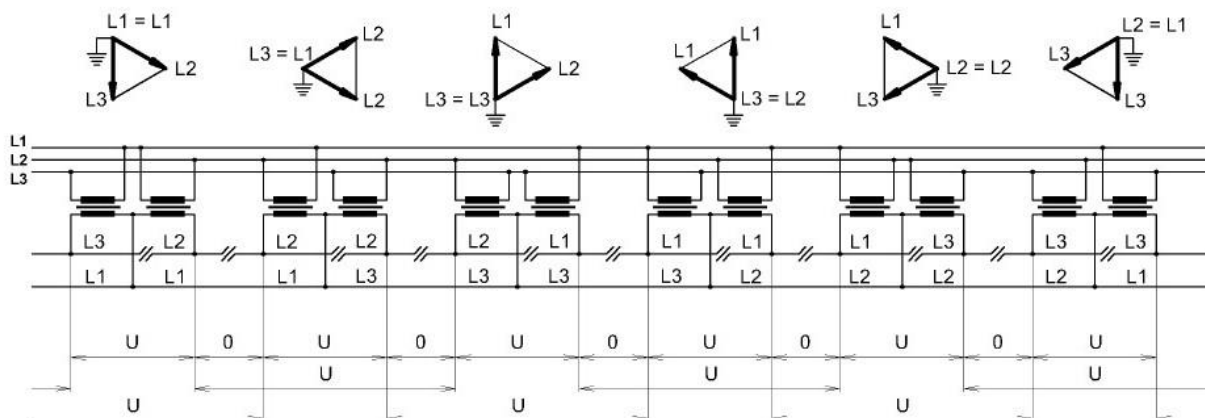
Obr. 5-1 Pripojenie trakčných transformátorov 110/27 kV pri zapojení vstupného vinutia do T [14]



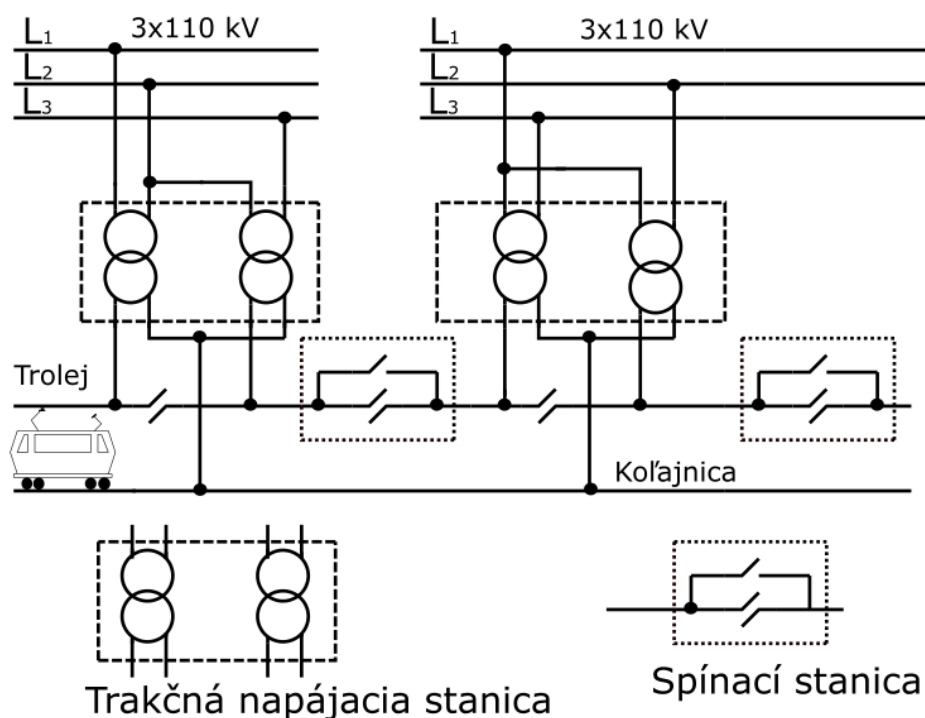
Obr. 5-2 Napájanie do T

Najviac používajú TNS s dvoma transformátormi, obvykle zapojené do „V“. Na obrázku 5-4 vidíme princíp na všetky napäťové hladiny medzi trolejom a koľajnicou, transformátor najviac má

priamo uzemnený uzol. Ako prívod najviac používajú z distribučnej siete 110 kV. Transformátor môže byť dimenzovaný na polovičný výkon TNS. Jeden fáza je pre oba transformátory spoločná a druhá fáza je pre každý transformátor iná. Medzi dvoch trakčného transformátoru musí byť v trakčnom vedení elektrické delenie na združené napätie, ktorí máme pomocou spínacích staníc. Spínacie stanice pomáhajú na obmedzenie veľkostí lokalizácie porúch.

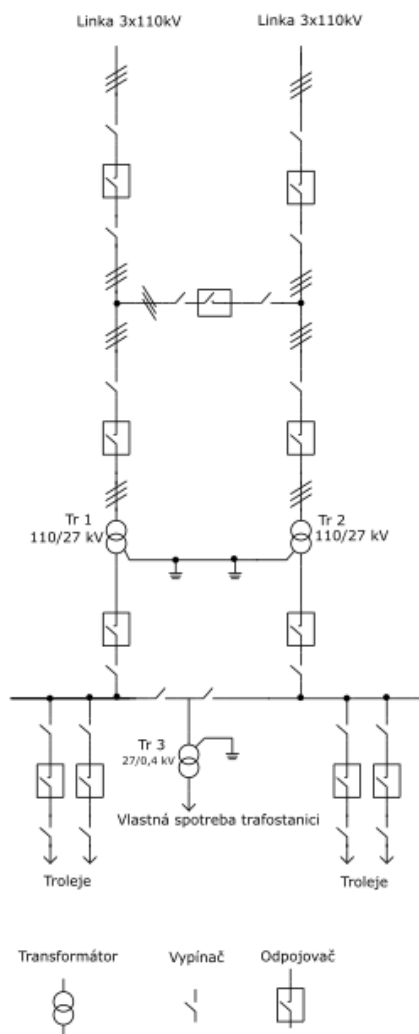


Obr. 5-3 Pripojenie trakčných transformátorov 110/27 kV pri zapojení vstupného vinutia do V [14]



Obr. 5-4 Napájanie do V

Rozdiel od jednosmernej TS je to, že striedavá TS je paprsková. Na obojstranné napájanie nie je možnosť z dôvodu nechceného pretoku vyrovnávacích prúdov medzi TNS.



Obr. 5-5 Schéma TNS typu H, dôležité pre nastavovanie blokovacej podmienky

TT je pripojená k DS s napätím 110 kV a pre väčšiu spoľahlivosť linky majú dvojité potaž alebo zasmyčujú linky. Na Obr. 5-5 máme nakreslenú dvojkoľajnú trať, TNS je rovnaký ako používame v distribučnej sieti ale nepoužívame transformátory s prevodom 110/22 kV ale s prevodom 110/27 kV, najviac s výkonom 12,5 MVA. Tieto transformátory nazývame ako trakčné transformátory a majú priamo uzemnený uzol.

Ochrany transformátoru je veľmi zložitá a dôležitá je preto, lebo trakčný transformátor z ekonomického hľadiska nie sú lacné. Čím viac stojí transformátor, tým viac ochrán potrebujeme na jeho chránenie.

Ochrana transformátoru zostáva minimálne z tieto typu ochrán: [4]

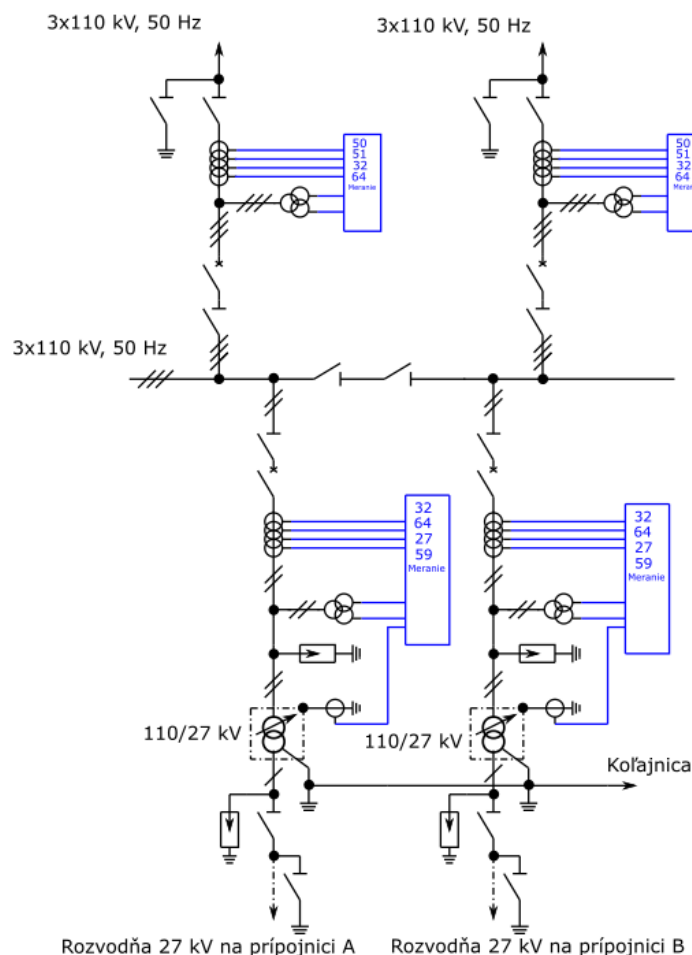
- nadprúdová okamihová ochrana pred účinky skratu
- nadprúdová časovo nezávislá ochrana proti preťaženiu
- zemní kostrová ochrana pred prúrazom vinutí na kostru, prípadne rozdiľová ochrana
- spätná wattová ochrana s možnosťou blokovania vypínacích funkcií používajú kvôli rekuperácie. Ochrana vypína TNS od DS v prípade toku prúdu smerom do DS.
- podpäťová ochrana v funkcii ochrany pred skratom na prípojniciach

- prepäťová ochrana
- Buchholzovo plynové relé - signalizuje a vypína transformátor pri vzniku plynu v nádobe transformátoru
- teplomery na sledovanie a vypínanie oblúku
- tepelná ochrana - zaistí vypnutie stroje pri nadmernom oteplení vinutí transformátoru

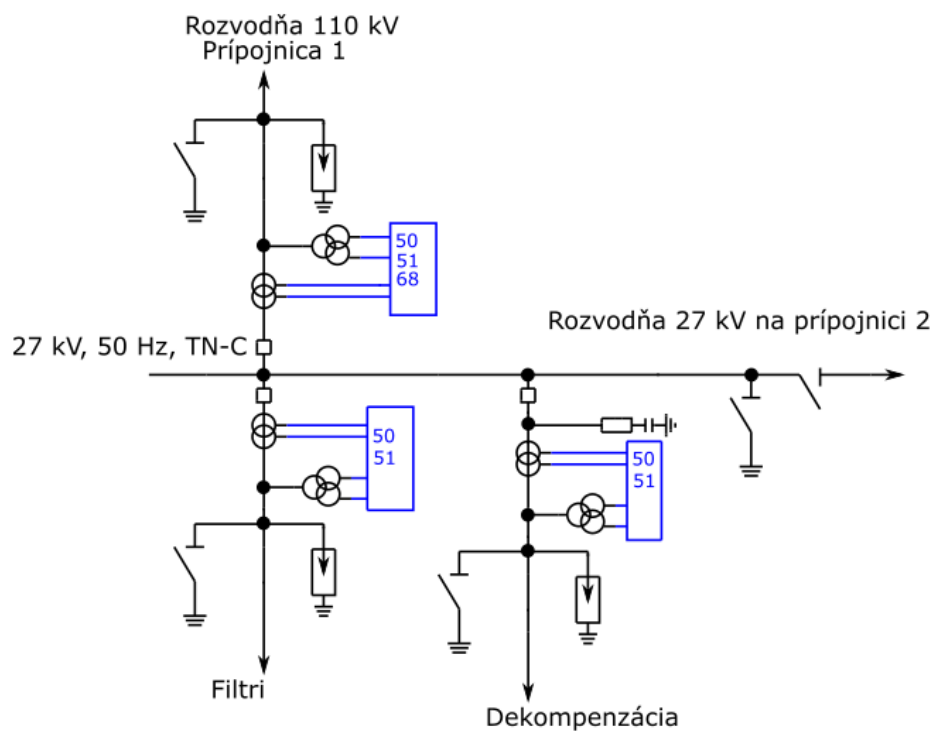
Hlavný prvok TT je transformátor ale okrem toho musíme chrániť aj ostatnú časť TS vývody s ochranami v vývodoch, tieto ochrany sú doporučené:

- nadprúdová okamihová ochrana pred účinky skratu a nadprúdová časove nezávislá ochrana pred účinkom vzdálených skratu, tieto dve môžeme nahradiť s distančnou napáječovou ochranou s vstaveným napäťovým a nadprúdovým článkom
- automatika opakovaného zapínania aby beznapäťový stav nestal,
- časový článok pre zabezpečenie selektivity napájačkovej distančnej ochrany s ochranami v spínacích staniciach,
- ďalšie ochrany podľa miestnych provozných podmienok - podpäťová, prepäťová, zpätná wattová

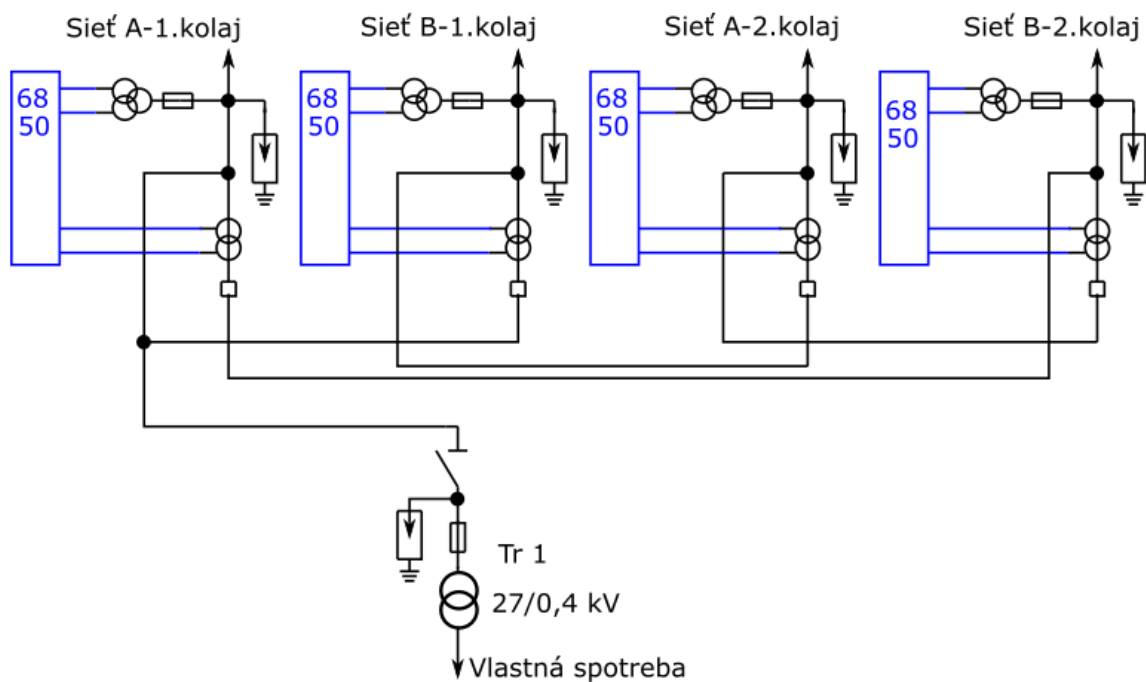
V starších rozvodnách sa stále používajú reléové ochrany ale v novších TT už používajú aj ochranné terminály typu REL610 alebo napríklad ochranné terminály typu REF630.



Obr. 5-6 Rozvodňa 110 kV TT s ochranami



Obr. 5-7 Rozvodňa 27 kV TT s ochranami



Obr. 5-8 Spínacia stanica s ochranami

5.1.2 2AC sústava s napätím 25 kV a frekvenciou 50 Hz

Podľa [4] pri tejto sústave elektrická energia je privedené čo najbližšie k miestu spotreby (kde sa nachádza hnací koľajový voz) s pomocou dvojvodičovým vedením 50 kV a transformuje len v mieste spotreby pomocou autotransformátoru na hodnotu 25 kV. 25 kV je medzi trolejovým vedením a koľajnici. TS sa skladá z trolejového vedenia, ktoré je jeden pól a ešte má prírodný

napájací vedenie, ktorý je ako druhý pól a proti napätie v trolejovom vedenie je fázove posunutí o 180° . Tieto vodiče majú medzi sebou napätie 50 kV. Stred sekundárneho vinutie trakčného transformátoru je uzemnení a pripojení na koľajnici. Trolejové vedenie aj druhý napájací vodič majú proti koľajnici (zemi) napätie 25 kV. Táto sústava je označovaný ako AT sústava. Vzdialenosť medzi napájacími stanicami sa pohybuje okolo 50 km. Autotransformátory instalujú sa v vzdialenostiach 10 až 12 km. Existuje aj BT sústava, ktorá nepoužíva autotransformátor, ale booster transformátory, z ktorých musíme dať v každom 3 km trati. Výhodou je to, že v úsekoch, kde nie je lokomotíva, neprechádza v koľajnici ani v zemi spätný trakční prúd. Tento prúd sa uzaviera len v úseku medzi lokomotívou a najbližším autotransformátorom. Preto v lokomotívach obmedzujú rušivé vplyvy a podzemní zariadenie nezakorodujú tak veľa.

5.2 Jednosmerní TS

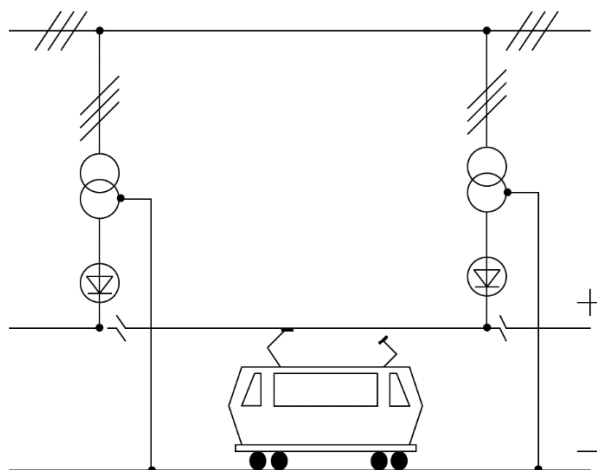
Jednosmerní TM sú napájané z 3 fázovej distribučnej siete 110 kV, 50 Hz. Kvôli kompenzácii úbytkov v distribučnej sieti 110 kV sa používajú napájanie meniarni s medzistupňom, ktorý tvorí transformovňa zo 110 kV na 22 kV. Táto zároveň slúži aj na napájanie verejnej siete. Používajú šesť alebo dvanásť pulzný diódový usmerňovače, aby zvlnenie usmerneného napätia bolo minimálne. Transformátory sú pripojené k distribučnej sieti v zapojenie Yy0 alebo viac používajú, pre vytvorenie najhladšieho priebehu napätie bez použítie kondenzátoru len šesťipulzní usmernenie nestačilo a preto viac používajú dvanáctipulzního usmernenie, ktoré posunutie terciéru od sekundéru o 30° umožňuje. Na obrázku 5-9 vidíme princíp na všetky napät'ové úrovne. Transformátor je vždy priamo uzemnení.

Výhody jednosmernej TS sú:

- odber je s stálom účinníkom
- z distribučnej siete odber je trojfázová
- na trakční výzbroj vozidla má menší nároky

Nevýhody jednosmernej TS sú:

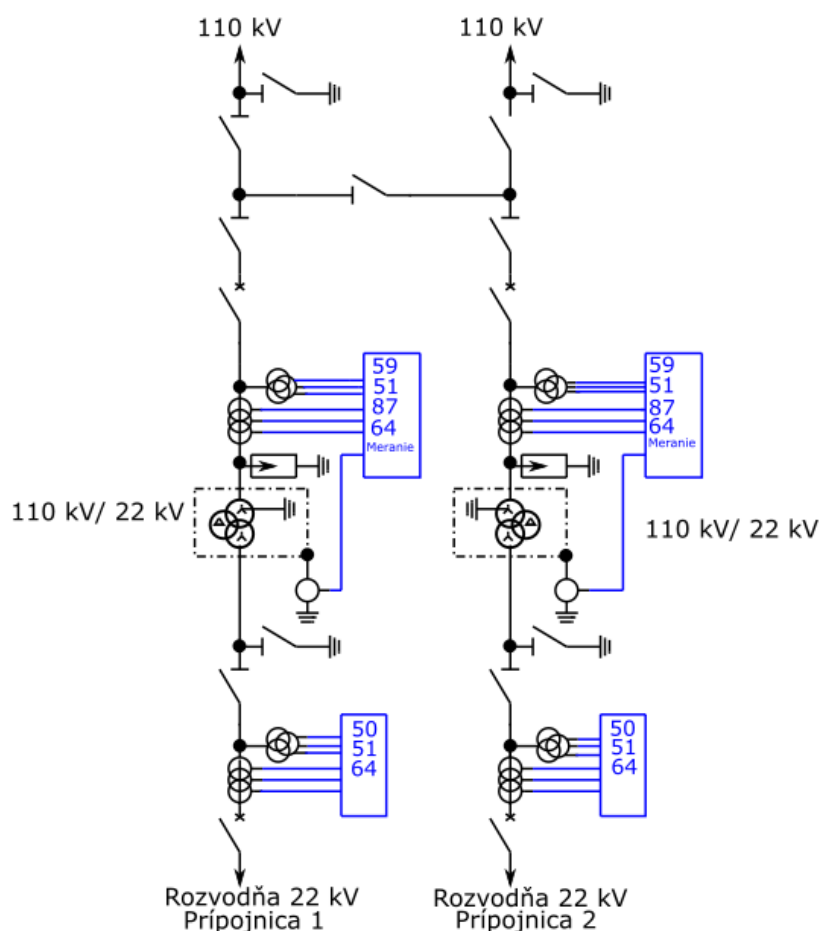
- vysoké nároky na polovodiče
- problematické vypínanie prúdu (skraty, nadprúdy)



Obr. 5-9 Princíp napájení pri jednosmernej TS

5.2.1 Jednosmerná TS s napätím 600 V ,750 V ,1500 V a 3000 V

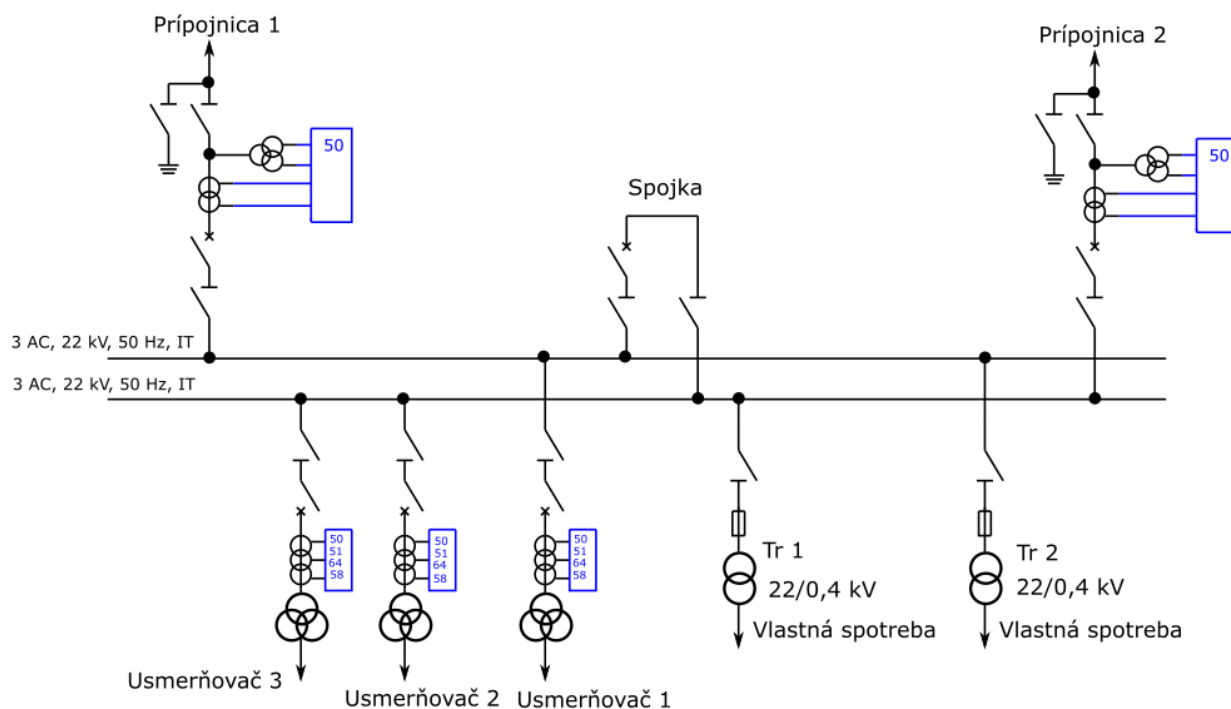
Podľa [4] používajú už nové elektronické ochranné jednotky ale ešte môžeme nájsť pôvodné reléové ochrany, ale existujú aj TM s ochranami typu A a AT ako nadprúdový alebo skratový ochrany. V zapuzdrených a skriňových rozvodnách sa oproti kobkovým už najviac inštalujú zábleskové a kostrové ochrany skrini. Usmerňovači jednotky majú vlastnú ochranu, ktorí dodávajú výrobcovia a majú funkciu indikácie prierazom diód a ešte tepelná ochrana diód. Ešte používajú prepäťovú ochranu, ktorý pôsobí na vypínač pred transformátorom.



Obr. 5-10 Rozvodňa 110 kV TM s ochranami

Ako transformátor na obrázku 5-10 používajú najviac transformátory s výkonom 10 MVA alebo s výkonom 12,5 MVA, s hodinovým uhlom YNyn0(d11).

Na obrázku 5-11 vidíme rozvodňu 22 kV, ako transformátor usmerňovačom použijem trojvinuťový trakční transformátor v zapojenie Yy0d1 s prevodom 23/2*2,5 kV a najviac s výkonom 5300 kVA a ako transformátor vlastnej potreby použijeme transformátor s prevodom 22/0,4 kV v zapojenie Yz1 s menovitým výkonom 160 kVA. Používajú terminál podľa REF543.



Obr. 5-11 Rozvodňa 22 kV TM s ochranami

V vstupnom pole TM v 22 kV časti používajú ochrany:

- prepäťová ochrana
- nadprúdové a zemné ochrany
- skratové ochrany
- kostrovú ochranu rozvodne
- zábleskové ochrany

Transformátor chráni ochranami:

- Buchholzovo plynové relé
- Tepelná ochrana
- Nadprúdová a skratová ochrana, ktorý pôsobí na vypínač na primárni strane transformátoru v prípade skratu za transformátorom alebo pri pretížení transformátora. Tieto ochrany spoločne chránia transformátor aj usmerňovač.
- Kostrová ochrana a rozdílová ochrana, ktorý vypína transformátor z primárni strany v prípade vnútorní poruchy stroje

Ochrany rozvádzača:

- Záblesková ochrana
- Kostrová ochrana (zemní ochrana) - ochrana pred nebezpečným dotykom pri poruche, vypína napájací transformátor z primárni strany

Ochrany vývodových poli:

- Nadprúdová ochrana – najviac používajú časove závislú.
- Skratová ochrana ako časove nezávislá a nastavujú sa na 4 000 A
- Zemní ochrana - u električkových sietí pred každým zapnutím napájača meria odpor daného úseku
- Plášťová ochrana kabelu, ktorý kontroluje napätie medzi plášťom kabelu a uzemnením TM

Bez trakčného vedenia TS neexistujú a preto ochrany sú veľmi dôležité u TS a sú vybavené ochranami:

- Rožkové bleskoistky
- Obmedzovače prepätia – chráni TM pred účinku atmosférických a spínacích prepätia

Svodiče sú robené z slúpcu varistoru dimenzovaných na trvalé prevozní napätie a vnútorní izolační plášť je robený z silikonového kaučuka. Pred nebezpečným dotykovým napätím v prípade poruchy v TS používajú ochrany ako oddeľovacie bleskoistky pre vyrovnanie potenciálu ako napríklad prierazku na obmedzovanie nízkeho napätia HL120, ktoré chráni osoby, ktorí môžu dostať do kontaktu s neživými časťami kovových konštrukcií pri údere blesku alebo pri poruchách. Obmedzovač v prípade jeho aktivácie vytvára vodivé spojenie medzi konštrukciou a koľajami.



Obr. 5-11 Obmedzovač HL120 [20]

U TS 3 kV napájanie traťového úseku je obojstranné, preto musí byť pri skratu zaistení odpojenie v každom susednom TM. To umožňuje takzvaná väzba napájačov, ktorá v prípade skratu zaistí vypnutie chráneného úseku z všetkých strán.

6 NORMY

TNS a TM musíme navrhnuť, provozovať, udržiavať a kontrolovať tak aby nestalo nebezpečie úrazu osôb alebo poškodenie zariadenie a práve preto sú v normách napísané a nakreslené usporiadanie TNS a TM a najviac musíme dávať pozor na dodrženie požadovanej vzdušnej vzdialenosti a bezpečnej vzdialenosti podľa:

ČSN EN 50110-1 ed. 3: Činnosť na elektrických zariadeniach - Časť 1: Obecné požiadavky

ČSN EN 50122-1 ed. 2: Drážní zařízení - Pevná trakční zařízení - Elektrická bezpečnosť, uzemňovanie a spätný obvod - Časť 1: Ochranná opatrenia proti úrazu elektrickým prúdom

ČSN EN 50124-1: Drážní zařízení - Koordinace izolace - Časť 1: Základní požadavky - Vzdušné vzdálenosti a povrchové cesty pro všechna elektrická a elektronická zařízení

ČSN EN 50124-2: Drážní zařízení - Koordinace izolace - Časť 2: Přepětí a ochrana před přepětím

ČSN EN 50522 (333201): Uzemňovanie elektrických instalácií AC nad 1 kV

a noriem pridružených.

Zariadenie TNS, TM a v spínacích staniciach s nízkym napätím musíme navrhnuť, udržiavať a kontrolovať všeobecne podľa:

ČSN 33 2000-1 ed. 2 (332000): Elektrické instalace nízkého napětí - Časť 1: Základní hlediska, stanovení základních charakteristik, definice

Okrem toho musíme každý zariadenie TNS, TM a v spínacích staniciach okrem všeobecnej normy aj podľa príslušným predpisom a predmetovým normám, ktoré sú pre konkrétny typ zariadenia:

Vypínače vvn, vn

Použité vypínače musíme navrhnuť podľa:

ČSN EN 62271-1 (354205): Vysokonapětová spínací a řídicí zařízení - Časť 1: Společná ustanovení

ČSN EN 62271-100 ED.2 (354220): Vysokonapětová spínací a řídicí zařízení - Časť 100: Vypínače střídavého proudu

Odpojovače vvn, vn

Použité odpojovače musíme navrhnuť podľa:

ČSN EN 62271-1 (354205)

ČSN EN 62271-102 (354210): Vysokonapětová spínací a řídicí zařízení - Časť 102: Odpojovače a uzemňovače střídavého proudu na napětí 1 000 V

Rozvádzače vn

Skriňové rozvádzače musíme navrhnuť podľa:

ČSN EN 62271-1 (354205)

ČSN EN 62271-200 ed. 2 (357181): Vysokonapětová spínací a řídicí zařízení - Časť 200: Kovově kryté rozváděče na střídavý proud pro jmenovitá napětí nad 1 kV do 52 kV včetně

Prístrojové transformátory

Prístrojové transformátory musíme navrhnuť podľa:

ČSN EN 61869-2 (351350): Prístrojové transformátory - Část 2: Dodatečné požadavky na transformátory proudu

ČSN EN 60044-2 (351358): Prístrojové transformátory - Část 2: Induktivní transformátory napětí

Ochrany, miestné automatiky a meranie

Ochrani, miestné automatiki a meranie musíme navrhnuť podľa:

ČSN 33 3505 ed. 2 (333505): Drážní zařízení - Pevná trakční zařízení - Základní požadavky na elektrické napájecí a spínací stanice

ČSN 33 3051 (333051): Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení
a železničné služobné rukováti **SR 34 (E)**.

Rozvodňa jednosmerného prúdu

Musíme provozovať a navrhnuť podľa:

ČSN 34 1500 ed. 2 (341500):

ČSN 33 3505 ed. 2 (333505):

Rychlovypínače

Musíme provozovať a navrhnuť podľa:

ČSN 34 1500 ed. 2 (341500)

ČSN 33 3505 ed. 2 (333505)

Služobné rukováti ČD v problematike TNS a TM:

SŽDC (ČD) E3: Předpis pro trakční napájecí a spínací stanice

SŽDC (ČSD) E6: Předpis pro činnost řídicího stanoviště elektroúseku

7 ZÁVER

V prvej kapitoly ako úvod je napísaný významné historické udalosti a štatistiky k trakčnej doprave. V druhej kapitoly tejto práci je popísaný súčasný stav a delenie trakčnej dopravy. Trakčná doprava ešte aj v dnešnom dobe stále rozvíja, už nie len metrá, električky, trolejbusy a na železnici používame ale pomocí eHighway môžeme aj elektrické a hybridné kamióny provozovať na trakcie.

V tretej kapitoly sú napísaný poruchové stavy v trakčnom sústave. Poruchové stavy sú skoro rovnakej ako sú v elektrizačnom sústave. Sú to najviac skraty a blúdivé prúdy ale blúdivé prúdy majú najväčšie dôsledky v trakčnom sústave a práve preto v bakalárskom práci najviac venujem pre blúdívých prúdoch, ktorí môže mať amplitúdu aj stovky ampérov.

Štvrtá kapitola sa zameriava na elektrické ochrany, ktoré sú používané v trakčnom sústave.

Cieľom bakalárskej práci bolo nakresliť model rozvodne trakčnej sústavy a to je nakreslené v piatom kapitoly. V kapitoly sú napísaný výhody aj nevýhody jednosmernej aj striedavej trakčnej sústavy. Rozvodňa 110 kV trakčnej meniarne aj trakčnej transformovny je rovnaká H schéma ako používame v elektrizačnom sústavy. V trakčnom meniarni najviac používajú rovnaký transformátor ako v elektrizačnom sústave, ale v trakčnom transformovni používajú transformátori s prevodom 110/27 kV. Okrem trakčného transformátora používajú rovnaký súčiastky ako v elektrizačnom sústave, lebo v sieti 22 kV používajú súčiastky s menovitou napätovou hladinou 25 kV.

Nastavenie ochran závisí na výkon trakčnej transformátora a výkon transformátora závisí na veľkosť napájacieho úseku, na to že ako je napájecí úsek naložený s osobnou alebo nákladnou prepravou.

V kapitoly č.6 sú napísane najdôležitejší normy a služobné rukoväti pri návrhu a prevozu TNS a TM v ČR ale aj na Slovensku.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] EUROPE RAIL ELECTRIFICATION. IN: WIKIPEDIA: THE FREE ENCYCLOPEDIA [ONLINE]. SAN FRANCISCO (CA): WIKIMEDIA FOUNDATION [CIT. 2018-10-23]. DOSTUPNÉ Z: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2492681>
- [2] *Elektrická trakce* [online]. [cit. 2018-10-23]. Dostupné z: <https://www.educon.zcu.cz/view.php?cislomodulu=2015022101>
- [3] *Portál provozování dráhy* [online]. [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: http://provoz.szdc.cz/PORTAL/Show.aspx?path=/Data/Mapy/kol_KJR.pdf
- [4] DOLEČEK, Radovan a Ondřej, ČERNÝ. *Trakční napájecí soustavy* [online]. Pardubice, 2015 [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/59028/DolecekR_TrakcniNapajeci_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Studijní opora. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera.
- [5] ŽELEZNIČNÁ NAPÁJACIA SÚSTAVA. IN: WIKIPEDIA: THE FREE ENCYCLOPEDIA [ONLINE]. SAN FRANCISCO (CA): WIKIMEDIA FOUNDATION [CIT. 2018-10-23]. DOSTUPNÉ Z: https://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%BDlezni%C4%8Dn%C3%A1_nap%C3%A1jacia_s%C3%BAstava
- [6] ČSN EN 50163 ED.2. *Drážní zařízení - Napájecí napětí trakčních soustav*. 2005.
- [7] ČSN 34 1500 ED.2. *Drážní zařízení – Pevná trakční zařízení – Předpisy pro elektrická trakční zařízení*. 2009.
- [8] ČSN EN 50 388 ED. 2. *Drážní zařízení – Napájení a drážní vozidla – Technická kritéria pro koordinaci mezi napájením (napájecí stanice) a drážními vozidly pro dosažení interoperability*. 2013.
- [9] BLÚDIVÝ PRŮD. IN: WIKIPEDIA: THE FREE ENCYCLOPEDIA [ONLINE]. SAN FRANCISCO (CA): WIKIMEDIA FOUNDATION [CIT. 2018-10-23]. DOSTUPNÉ Z: https://sk.wikipedia.org/wiki/Bl%C3%BAdiv%C3%BD_pr%C3%BAd
- [10] *Železničné.info* [online]. [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: <https://www.zeleznicne.info/rservice.php?akce=tisk&cislocianku=2010070019>
- [11] ORSÁGOVÁ, Jaroslava. *Rozvodná zařízení*. Brno, 2015. s. 179.
- [12] HALUZÍK, E. *Ochrany a automatiky v elektrických sítích*. Skriptum edičné stredisko VUT Brno. Brno 1986
- [13] *Obnoviteľné zdroje energie* [online]. [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: <http://www.oze.stuba.sk/wp-content/themes/ObnovitelneZdrojeEnergie/elearning/EENERGETIKA/La-41.htm>
- [14] ČSN 33 3505 ED.2. *Drážní zařízení – Pevná trakční zařízení – Základní požadavky na elektrické napájecí a spínací stanice*. 2009.
- [15] *K-report* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.k-report.net/clanky/stahovacky-prezitek-nebo-nutnost/?kapitola=1>
- [16] *Scania* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.scania.com/group/en/worlds-first-electric-road-opens-in-sweden-2/>

-
- [17] *Deník.cz* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z:
<https://www.denik.cz/regiony/zahadny-jev-svodidla-ktera-sama-hori20100413.html>
- [18] *Slovenský elektrotechnický zväz* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z:
https://www.sez-kes.sk/assets/files/obsah/64-49ko_Madarasz.pdf
- [19] *Megger* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z:
<https://sk.megger.com/digiphone-nt-set>
- [20] *Hakel* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z:
<https://www.hakel.cz/novinky/aplikace-omezovace-nizkeho-napeti-hl120-prepetova-ochrana/>